# 海南岛木麻黄海防林天然更新特征及更新树种筛选

杨彬[1]， 王玉[1]， 郝清玉[1*]
（热带岛屿生态学教育部重点实验室，海南师范大学 生命科学学院，海口 571158）

**摘要：**天然更新是森林资源再生产的一个重要的生态学过程，良好的天然更新可促进人工林向近自然林方向的转变。为了解海南木麻黄海防林天然更新现状及特征，并筛选出自然条件下天然更新良好的树种，该研究采用典型抽样的调查方法对海南全岛木麻黄海防林天然更新状况进行了系统调查，并应用天然更新密度及物种丰富度等指标，对干湿不同气候区木麻黄天然更新特征进行了比较分析；应用更新密度、更新指数等指标对天然更新质量较好的树种进行了筛选。在海南岛木麻黄海防林内共计设立临时样地 73 块，样地总面积为 2.51 $hm^2$。结果表明：（1）海南岛木麻黄海防林下天然更新质量整体不佳，木麻黄自身无法实现天然更新，但局部其他树种天然更新良好，更新良好的比例为 15.1%；（2）湿润区天然更新丰富度及物种多样性远优于半干旱区，其中湿润区样地更新树种为 28 科，50 属，59 种；半干旱区样地更新的树种仅为 6 科，6 属，6 种；（3）乔木更新情况优于灌木；（4）潺槁木姜子、鸦胆子、台湾相思、榄仁树等具有较强的天然更新性能，适合与木麻黄混交，可作为木麻黄海防林的混交树种或伴生树种。

**关键词：**海防林，天然更新，树种筛选，木麻黄，海南岛
中图分类号： Q948.1，S754　　　文献标识码：A　　　文章编号：201812016
DOI：10.11931/guihaia.gxzw201812016

# Natural regeneration characteristics and selection of regeneration tree species of *Casuarina equisetifolia* coastal windbreaks in Hainan Island

YANG Bin[1], WANG Yu[1], HAO Qingyu[1*]
（*Ministry of Education Key Laboratory for Ecology of Tropical Islands, College of Life Sciences, Hainan Normal University*, Haikou 571158, China）

**Abstract:** Natural regeneration is an important ecological process of forest resource reproduction, and good natural regeneration can promote the transformation of artificial forest to near natural forest. In order to understand the status and characteristics of natural regeneration of Hainan *Casuarina equisetifolia* coastal windbreaks, and to select the species with good natural regeneration under natural conditions, the natural regeneration status of Hainan *Casuarina equisetifolia* coastal windbreaks was systematically investigated in this study by typical sampling method, and the natural regeneration characteristics of *Casuarina equisetifolia* in both semiarid

**基金项目：**国家自然科学基金（31760202） [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31760202)] 。

**作者简介：**杨彬(1993 - )，男，辽宁大连人，硕士研究生，主要研究方向为植物学，（E-mail）1938075509@qq.com。
***通信作者：**郝清玉，博士，教授，研究方向为恢复生态学，（E-mail）hnhaoqy@126.com。

and wet different climate zones were compared and analyzed by using the indexes of natural regeneration density and species richness; the tree species with better natural regeneration quality were screened by regeneration density and regeneration index. A total of 73 temporary quadrats were set, with the total sample areas of 2.51 $hm^2$. The results showed that :(1) the overall quality of natural regeneration in *Casuarina equisetifolia* costal windbreaks was not good, and *Casuarina equisetifolia* could not achieve the natural regeneration by itself, but the natural regeneration of some other species was good in local area, and the percentage of good regeneration was 15.1%. (2) the natural regeneration richness and diversity in the wet area are much better than that in the semiarid area, in which there were 28 families, 50 genera and 59 regeneration tree species in the wet area; there were only 6 families, 6 genera and 6 regeneration tree species in semiarid area; (3) the regeneration of trees is better than that of shrubs; (4) *Litsea glutinosa*, *Brucea javanica* , *Acacia confusa*，*Terminalia catappa* , et al were found to have stronger natural regeneration capability, therefore, they are suitable for mixing plantation with *Casuarina equisetifolia* and can be used as mixed tree species or associated tree species of *Casuarina equisetifolia* costal windbreaks.
**Key words:** coastal windbreaks, Natural regeneration, tree species selection, *Casuarina equisetifolia*, Hainan Island

海南岛位于我国南海北部，具有 1 528 km 的海岸线，其中宜林海岸线长达 1 105 km，约占总海岸线长的 72.03%。为防止台风及热带风暴导致沿海沙丘内移造成的经济损失，结合木麻黄（*Casuarina equisetifolia*）喜光，喜炎热气候，喜钙镁，耐盐碱、贫瘠土壤，耐干旱也耐潮湿等生物学特性，海南省自上世纪 50 年代起，开始有计划地构筑以木麻黄为主的沿海防护林，木麻黄生长迅速，抗风力强，不怕沙埋，经过多年的栽培，显现出相当好的地域适应性及抗风沙能力（刘强和张亚辉，2002；Chen et al.，2018），成为我国南方滨海防风固沙的优良树种。至 20 世纪 80 年，涉及沿海 12 市县 73 乡镇的全岛防护林基本合拢（胡小婵和温春生，2009），成林面积 5.6 万 $hm^2$，全岛风沙危害问题基本得到解决。目前，海南岛人工海防林中，除了少量的木麻黄椰子混交林、木麻黄相思混交林、椰子林等以外，其余皆为木麻黄纯林。但木麻黄纯林也存在着诸多问题，如：树种单一、结构简单、林分质量差、破坏较为严重（韩奉畴，2006）以及天然更新困难（张水松等，2000）；重新营造木麻黄林时，幼苗成活率降低，生长不良，甚至有的防护林多次更新未获成功（郑达贤和沙济琴，1994）；木麻黄防护林存在滨海沙土肥力低下，天然植被稀少（谭芳林等，2003）等问题。

森林更新是指以自然力或人为力重新形成森林的过程，而天然更新是森林更新的重要方式，也是森林资源再生产的一个重要手段。相比于传统的人工育林方式，天然更新具有育林成本低、成林周期短、对空间和地力的利用率高、环境稳定，生态平衡、幼树抗性、保存性高、保持水土，提高地力等优势（薄永安和芦秀珍，1991；刘济明，2000），是实现森林恢复的重要途经（Chazdon & Guariguata，2016）。近年来，我国沿海各省，陆续对木麻黄海防林更新技术展开研究：在分析更新障碍因子的基础上，提出混交造林、良种选育和加强凋落物保护等措施，为木麻黄海防林的改造更新积累了经验（姚宝琪，2011）。目前学界普遍认定，营造混交海防林，不仅可以充分利用空间和营养面积，改善立地条件，提高林产品的数量和质量，较好地发挥防护效益，而且可增强抗御自然灾害的能力（陈雪峰，1996）。大量的研究表明（刘凯昌和叶渭贤，2001）：采用多树种进行混交造林，可增加树种多样性，形成不同层次的空间结构，增加物种的遗传多样性，促进土壤养分循环，改善林带气候条件等（Liu et al.，2015）。营造混交林固然重要，但如何营造能进行天然更新的混交林尤为重要，因为天然更新是促进纯林向混交林方向转变的有效途径，是将人工林改造成近自然林的重要环节。

对木麻黄海防林的研究虽然有很多，但主要集中在木麻黄生理生化、化感及自身特性上，关于大面积海防林天然更新情况的研究尚未见报道。海南岛木麻黄海防林面积大，分布广，营造时间长，气候区多样，天然更新可能存在较大的变数，因此有必要揭示木麻黄海防林天然更新的状况。本文拟采用典型抽样调查方法，对木麻黄海防林进行调查，了解不同气候区木麻黄海防林天然更新现状及特征，分析木麻黄天然更新中存在的问题，筛选自然条件下优良的天然更新树种，为进一步改善木麻黄林分结构，筛选出优良的混交树种，优化木麻黄经营策略等提供科学依据，同时也为进一步探究影响木麻黄海防林天然更新的障碍因子提供理论基础。

## 1. 研究地区概况

研究地区为海南岛木麻黄沿海防护林，位于中国最南端，地处 108° 37′ —111° 03′ E，18° 10′ — 20° 10′ N，陆地总面积 3.5 万 $km^2$。属热带季风气候，各地的年平均气温为 23.1~26.3 ℃ ，各地温差不大，气温分布较为均匀，但东西区域干湿度差异较大。车秀芬等（2014)的研究表明，以干燥指数为主要指标降水量为辅助指标可将海南岛分为三个干湿区，分别为湿润、半湿润和半干旱区。结合天然更新的实际情况，本研究将全岛分为湿润区（湿润区与半湿润区合并）与半干旱区，其中半干旱区年干燥指数大于 1.5，年降水量小于 1 000 mm；湿润区年干燥指数小于 1.5，年降水量大于 1 000 mm。

## 2. 研究方法

### 2.1 调查方法与样地选择

2017 年 9 月起至 2018 年 5 月，采用典型抽样调查方法对海南岛沿海 12 市县木麻黄海防林进行了调查。样方数量共计 73 块，样地面积选择因林地形状及大小而定（表 1）。样地的选择首先是通过 Google 卫星高清地图确定木麻黄林分布区的位置，然后对各分布区进行大面积现场踏查，选择具有代表性的区域设立临时样地。每个分布区至少设立一块样地，样地数量视分布区面积及天然更新状况而定，对于有天然更新的区域多设置 2~3 块样地，并优先选择天然更新良好的区域设立样地，对于无天然更新的区域，一般只设立 1~2 块样地。海南岛干湿区及调查样地分布情况见图 1，其中半干旱区为东方市西部沿海小部分地区及昌江南部沿海，其他地区为湿润区。

表 1 样地大小及气候区分布

Table 1 Sample plot size, numbers and distribution of climate area

| 气候区 Climate zones | 不同大小样地数量 Number of plot size | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 m×10 m | 10 m×20 m | 20 m×20 m | 20 m×30 m | 合计 Total |
| 半干旱区 Dry area | 7 | 0 | 7 | 0 | 14 |
| 湿润区 Wet area | 7 | 1 | 48 | 3 | 59 |
| 全岛 Whole Island | 14 | 1 | 55 | 3 | 73 |

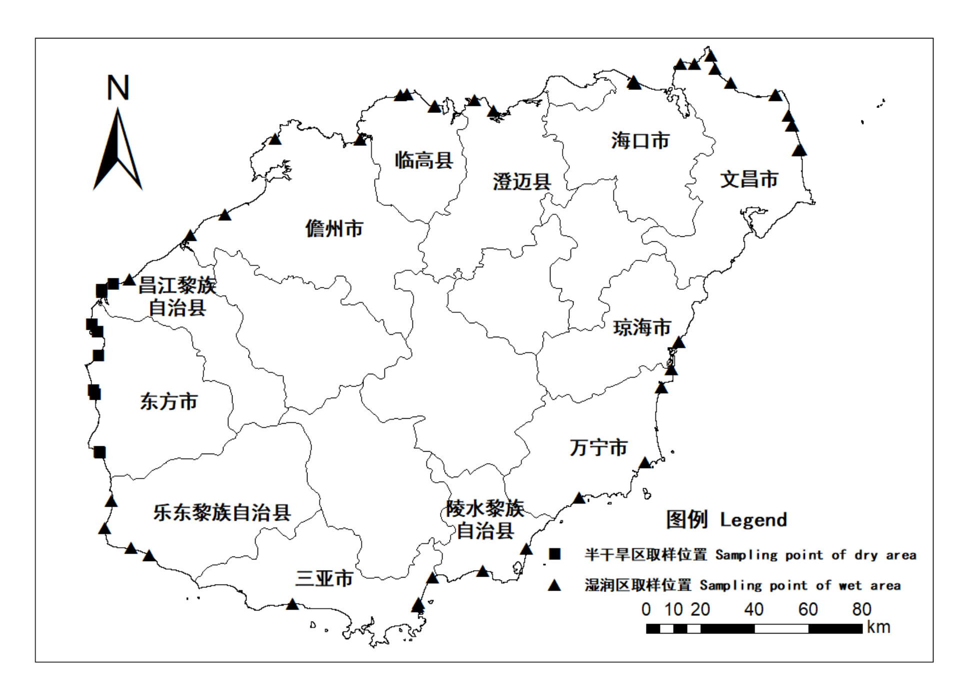



图 1 气候区及样地位置分布示意图

Fig.1 Climate zones and sample plots distribution sketch map

样地调查内容包括木麻黄成树每木调查，天然更新调查，环境生态因子，草本调查，凋落物调查等。主要记录乔木种名、株数、胸径，树高；幼苗、幼树种名、株数、株高；乔木层郁闭度、林下光照度；草本盖度、组成；凋落物厚度等。

2.2 数据处理与分析

（1）木麻黄林龄划分方法

根据《森林资源规划设计调查技术规程（GB/T 26424-2010)》，南方木麻黄人工林可划分为 5 个龄级：幼龄林（≤5 a）、中龄林（6~10 a）、近熟林（11~15 a）、成熟林（16~25 a）及过熟林（≥26 a）。本调查在结合更新情况后将中龄林和近熟林合并为中林龄。调查样地的龄级是基于对木麻黄海防林附近村民走访调查与样地平均胸径、生长状况相结合确定的。由于木麻黄幼龄林数量较少，且无天然更新，因此没有设置调查样地。

（2）天然更新幼苗、幼树及成树的划分标准

天然更新幼苗、幼树及成树的划分标准如表 2 所示，*H* 表示株高（m）；*DBH* 表示胸高直径（cm），下同。

表 2 幼苗、幼树及成树划分标准

Table 2 Criteria for seedlings, saplings and mature trees

| 等级 Classes | Ⅰ级幼苗 Seedlings of classes I | Ⅱ级幼苗 Seedlings of classes II | Ⅲ级幼树 Saplings of classes III | Ⅳ级幼树 Saplings of classes IV | Ⅴ级成树 Mature trees of classes V |
|---|---|---|---|---|---|
| 标准 Criteria | $H < 0.30$ | $0.30 \leqslant H < 0.50$ | $H \geqslant 0.50$ 且 $DBH < 2.5$ | $2.5 \leqslant DBH < 5.0$ | $DBH > 5.0$ |

（3）天然更新质量标准

采用国家林业局 2014 年颁布的《森林资源连续清查技术规程》中的天然更新质量标准判断更新质量（表 3）。

表 3 天然更新等级评定标准（株/hm$^2$）

Table 3 Evaluation standard on natural regeneration grade

| 等级 | 幼苗高度等级 Seedling height Classes （m） |
|---|---|

| Grade | < 0.30 | 0.30~0.49 | ≥ 0.50 |
|---|---|---|---|
| 良好 Good | ≥ 5 000 | ≥ 3 000 | ≥ 2 500 |
| 中等 Medium | 3 000 ~ 4999 | 1 000 ~ 2 999 | 500 ~ 2 499 |
| 不良 Bad | < 3 000 | < 1 000 | < 500 |

对同时具有不同高度级幼苗、幼树的样地，参照表 2 将各高度级的幼苗、幼树折算为 I 级幼苗的数量，以此来判定样地的天然更新质量，其中折算后的 I 级幼苗密度= I 级幼苗密度+ II 级幼苗密度×1.667（5 000/3 000）+III级幼树密度×2（5 000/2 500）。

（4）天然更新树种生长型划分标准（周刘丽等，2015）：株高 10 m 以上为乔木， 6~10 m 为小乔木，5 m 以下为灌木。

（5）更新指数（连相汝，2014）：$R = \sum n_I \times 2^I$ （ 1 ）

式中，$I$ 为 I ~IV 4 级幼、苗幼树等级，$n_I$ 为第 $I$ 级株数，$R$ 为更新指数。

（6）Margalef 丰富度指数（黎燕琼等，2011）：$SR = (S-1) / ln\,N$ （ 2 ）

式中，$SR$ 为 Margalef 丰富度指数，$S$ 为物种丰度，$N$ 为各物种个体总数。

（7）Min-max 标准化（Min-max normalization）：$x^* = x - \min/\max - \min$ （ 3 ）

式中，$x^*$为标准化后数据，$x$ 为待标准化数据，min 与 max 分别为数据中的最小与最大值。

（8）光照度：采用 ST-80C 照度计测量，沿样地对角线等间距测量 5 个点，然后计算其平均值。

采用 Microsoft Excel 2016 及 SPSS 16.0 等软件统计分析数据。

## 3. 结果与分析

### 3.1 木麻黄海防林林分状况

全岛木麻黄海防林平均密度为 1 451.55 株/hm$^2$，其中半干旱区为 1 733.93 株/hm$^2$ ，湿润区为 1 380.95 株/hm$^2$ ，整体上看半干旱区的密度要高于湿润区；2 个区的中龄林密度均大于成过熟林，其中半干旱区和湿润区的中龄林和成熟林的平均密度分别为半干旱区 4 000.00 株/hm$^2$ 和 1 559.62 株/hm$^2$ ，湿润区 2 060.94 株/hm$^2$ 和 1 108.96 株/hm$^2$。木麻黄平均胸径为 11.92 cm，平均树高为 14.30 m。干湿两区木麻黄平均胸径及树高均无显著性差异（sig. = 0.653 和 0.417 ＞ 0.05）。木麻黄林平均郁闭度为 0.70，平均光照度为 1 7067 lx，凋落物平均厚度为 3.99 cm，且干湿区凋落物厚度无显著性差异（sig.= 0.10 ＞0.05）。半干旱区只有约 7%的样地内有草本，平均草本盖度为 1.40%，主要的草本组成包括：土牛膝（*Achyranthes aspera*）、黄细心（*Boerhavia diffusa*）、牛筋草（*Eleusine indica*）等；而湿润区中约 41%的样地中存在草本，平均草本盖度达 19.50%，物种主要组成为土牛膝（*Achyranthes aspera*）、鬼针草（*Bidens pilosa*）、飞机草（*Eupatorium odoratum*）、宽叶十万错（*Asystasia gangetica*）等。

表 4 木麻黄海防林林分状况

Table 4 Stand condition of *Casuarina equisetifolia* coastal windbreaks

| 气候区 Climate zones | 龄级结构 Age class | 密度 Density（株/hm$^2$） | 平均胸径 *DBH*（cm） | 平均树高 Height（m） | 郁闭度 Canopy density | 光照度 Illuminance（lx） | 凋落物厚度 Litter thickness（cm） | 草本盖度 Herbaceous cover（%） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 半干旱区 | 中龄林 Middle | 4 000.00 | 6.98 | 13.00 | 0.90 | 7 607 | 4.33 | 0.00 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dry area | aged forest<br>成过熟林 Mature and over mature forest | 1 559.62 | 12.94 | 13.49 | 0.77 | 7 744 | 5.76 | 1.54 |
| | 平均值 Mean | 1 733.93 | 12.51 | 13.45 | 0.78 | 7 734 | 5.65 | 1.40 |
| 湿润区 Wet area | 中龄林 Middle aged forest | 2 060.94 | 6.41 | 9.34 | 0.68 | 18 367 | 2.39 | 8.75 |
| | 成过熟林 Mature and over mature forest | 1 108.96 | 13.92 | 16.58 | 0.67 | 19 813 | 4.06 | 23.80 |
| | 平均值 Mean | 1 380.95 | 11.77 | 14.51 | 0.67 | 19 400 | 3.55 | 19.50 |
| 全岛平均 Whole Island | | 1 451.55 | 11.92 | 14.30 | 0.70 | 17 067 | 3.99 | 15.89 |

3.2 海南岛木麻黄海防林天然更新质量

调查样地中，无天然更新的样地面积为 0.74 $hm^2$，占 29.48%，有天然更新的样地面积为 1.77 $hm^2$，占 70.52%（表 5）。天然更新总密度为 1 323.74 株/$hm^2$，其中III级幼树最多，为 824.32 株/$hm^2$，Ⅳ级幼树最少，仅为 52.97 株/$hm^2$；66.14%的样地为无更新或更新不良，其中 29.48%的样地为无天然更新，而更新中等以上的样地占 33.87%，其中更新良好的样地只占 15.14%。

对比干湿两区，半干旱区内有 60.00%的样地无天然更新，而湿润区只有 24.54%，半干旱区其它更新质量等级的占比均小于湿润区，同时半干旱区各更新质量的各级幼苗、幼树密度均低于湿润区，同时湿润区的更新指数 R 也远大于半干旱区。另外 15.14%的良好更新样地中，湿润区占 14.74%，而半干旱区仅占 0.40%；18.73%的中等更新样地中，湿润区占 18.33%，而半干旱区仅占 0.40%。从更新数量的角度，可以判定湿润区的更新情况要明显好于半干旱区。

表 5 木麻黄海防林天然更新状况

Table 5 Natural regeneration condition of *Casuarina equisetifolia* coastal windbreaks

| 气候区 Climate zones | 更新质量 Natural regeneration grade | 样地数量 Number of sample plots | 样地面积 Sample Area（$hm^2$） | 更新质量比例 Proportion（%） | 天然更新密度 Density of natural regeneration （株/$hm^2$）<br>折算后的Ⅰ级幼苗 Converted to seedlings of classes I | Ⅰ级幼苗 Seedlings of classes I | Ⅱ级幼苗 Seedlings of classes II | III级幼树 Saplings of classes III | Ⅳ级幼树 Saplings of classes IV | Ⅴ级成树 Mature trees V | 更新指数 *R* Natural regeneration index |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 全岛 Whole Islan | 无 No | 26 | 0.74 | 29.48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84.62 | 0 |
| | 不良 Bad | 22 | 0.92 | 36.65 | 407.2 | 12.12 | 14.77 | 185.23 | 8.71 | 79.92 | 1 704.52 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | 中等 Medium | 14 | 0.47 | 18.73 | 2 786.91 | 164.29 | 157.14 | 1 180.36 | 62.5 | 101.79 | 11 400.02 |
| | 良好 Good | 11 | 0.38 | 15.14 | 9 983.33 | 2 068.18 | 431.82 | 3 597.73 | 254.55 | 106.82 | 38 718.28 |
| | 合计/平均 Total/ Mean | 73 | 2.51 | 100 | 2 161.53* | 346.80* | 99.66* | 824.32* | 52.97* | 89.84* | 8 534.25* |
| 半干旱区 Dry area | 无 No | 9 | 0.21 | 60.00（8.37） | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80.56 | 0 |
| | 不良 Bad | 3 | 0.12 | 34.29（4.78） | 247.22 | 16.67 | 8.33 | 108.33 | 16.67 | 0 | 1 200.02 |
| | 中等 Medium | 1 | 0.01 | 2.86（0.40） | 1 400 | 0 | 0 | 700 | 0 | 0 | 5 600 |
| | 良好 Good | 1 | 0.01 | 2.86（0.40） | 5 200 | 0 | 0 | 2 600 | 0 | 0 | 20 800 |
| | 合计/平均 Total/ Mean | 14 | 0.35 | 100（19.20） | 524.4* | 3.57* | 1.79* | 258.93* | 3.57* | 51.79* | 2 142.86* |
| 湿润区 Wet area | 无 No | 17 | 0.53 | 24.54（21.12） | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.76 | 0 |
| | 不良 Bad | 19 | 0.8 | 37.04（31.87） | 432.46 | 11.4 | 15.79 | 197.37 | 7.46 | 92.54 | 1 784.28 |
| | 中等 Medium | 13 | 0.46 | 21.30（18.33） | 2 893.59 | 176.92 | 169.23 | 1 217.31 | 67.31 | 109.62 | 11 846.2 |
| | 良好 Good | 10 | 0.37 | 17.13（14.74） | 10 461.67 | 2 275 | 475 | 3 697.5 | 280 | 117.5 | 40 510 |
| | 合计/平均 Total/ Mean | 59 | 2.16 | 100（86.06） | 2 550* | 428.25* | 122.88* | 958.47* | 64.69* | 98.87* | 10 050.82* |

注：括号内的数据为半干旱区与湿润区各更新质量的样地数量占全岛样地面积的百分比。

Note: The data in parentheses are the percentage of the number of sample plots with renewal quality in arid and wet areas to the total sample area of the island.

从更新的生长型来看，木麻黄海防林天然更新的主要生长型为乔木（表 6），更新密度为 742.58 株/ hm$^2$，远高于小乔木 256.51 株/hm$^2$ 和灌木 324.66 株/hm$^2$。此外，乔木成树的更新数量为 78.20 株/hm$^2$，也分别高于小乔木 10.96 株/hm$^2$ 和灌木 0.68 株/hm$^2$。从更新结构来看，乔木的各更新级密度呈 W 型结构，Ⅰ、Ⅲ级密度高，Ⅱ、Ⅴ级密度低；而小乔木和灌木均呈倒 V 型结构，仅Ⅲ级幼树密度高，因此乔木更新结构相对较为合理，基本可以维持一个相对稳定的更新动态。这一现象在半干旱区表现得更为明显，小乔木总计更新密度为 253.75 株/hm$^2$，其中 251.79 株/hm$^2$ 都为Ⅲ级幼树，占比为 99.23%。另外，半干旱区除小乔木的Ⅲ级幼树外其它生长型几乎没有更新。在湿润区，不同生长型各更新级的结构基本上与全岛的相同，即乔木呈 W 型，而小乔木和灌木均呈倒 V 型。这表明湿润区乔木的更新结构相对较为合理，更新结构远好于小乔木和灌木。

表 6 不同生长型天然更新状况

Table 6　Natural regeneration condition of different growth types

| 气候区 Climate zones | 生长型 Growth forms | 各更新级的天然更新密度 Density of natural regeneration （株/hm$^2$） | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ⅰ级幼苗 Seedlings of classes I | Ⅱ级幼苗 Seedlings of classes II | Ⅲ级幼树 Saplings of classes III | Ⅳ级幼树 Saplings of classes IV | Ⅴ级成树 Mature trees V | 更新合计 Total | 更新指数 R Natural regeneration index |
| 全岛 Whole Island | 乔木 Trees | 328.65 | 64.04 | 305.82 | 44.06 | 78.20 | 742.58 | 4 065.07 |
| | 小乔木 Small trees | 5.14 | 11.99 | 233.22 | 6.16 | 10.96 | 256.51 | 2 022.60 |
| | 灌木 Shrubs | 13.01 | 23.63 | 285.27 | 2.74 | 0.68 | 324.66 | 2 446.58 |
| | 合计 Total | 346.80 | 99.66 | 824.32 | 52.97 | 89.84 | 1 323.74 | 8 534.25 |
| 半干旱区 Dry area | 乔木 Trees | 1.79 | 0.00 | 1.79 | 3.57 | 28.75 | 7.14 | 75.00 |
| | 小乔木 Small trees | 1.79 | 0.00 | 251.79 | 0.00 | 23.21 | 253.57 | 2 017.86 |
| | 灌木 Shrubs | 0.00 | 1.79 | 5.36 | 0.00 | 0.00 | 7.14 | 50.00 |
| | 合计 Total | 3.57 | 1.79 | 258.93 | 3.57 | 26.79 | 267.86 | 2 142.86 |
| 湿润区 Wet area | 乔木 Trees | 406.21 | 79.24 | 377.97 | 53.67 | 89.97 | 917.09 | 5 011.86 |
| | 小乔木 Small trees | 5.93 | 14.83 | 228.81 | 7.63 | 8.05 | 257.20 | 2 023.73 |
| | 灌木 Shrubs | 16.10 | 28.81 | 351.69 | 3.39 | 0.85 | 400.00 | 3 015.25 |
| | 合计 Total | 428.25 | 122.88 | 958.47 | 64.69 | 104.80 | 1 574.29 | 10 050.85 |

### 3.3 木麻黄海防林天然更新物种丰富度

全岛调查样地共有天然更新植物 29 科 50 属 60 种，Margalef 丰富度指数达 7.2951，其中乔木的丰富度指数最高，为 3.0308，灌木次之，为 2.9099，小乔木最少，为 2.3492（表 7）。更新密度最大的两物种分别为潺槁木姜子（*Litsea glutinosa*）和台湾相思（*Acacia confuse*），二者均为乔木，合计密度为 706.02 株/hm$^2$，占更新总密度的 46.87%。露兜簕（*Pandanus*

*tectorius*）和鸦胆子（*Brucea javanica*）的更新密度次之，分别占总更新密度的7.84%和7.44%，二者均为小乔木，合计密度仅为333.04 株/$hm^2$。灌木的更新密度较其它生长型则更少。

半干旱区样地天然更新的树种仅有 6 种，其中有 1 种为半干旱区独有，半干旱区的 Margalef 丰富度指数仅为1.2717；而湿润区样地天然更新树种有59种，其中有54种为湿润区独有更新树种，Margalef 丰富度指数也高达 7.1855。可见湿润区天然更新的丰富度要远好于半干旱区。

表 7 不同生长型更新丰富度

Table 7 Natural regeneration species richness of different growth forms

| 气候区 Climate zones | 生长型 Growth forms | 乔木 Trees | 小乔木 Small trees | 灌木 Shrubs | 合计 Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 全岛 Whole Island | 科数 Family numbers | 17 | 13 | 10 | 29 |
| | 属数 Genus numbers | 21 | 15 | 18 | 50 |
| | 种数 Species numbers | 24 | 16 | 20 | 60 |
| | 丰富度指数 *SR* | 3.0308 | 2.3492 | 2.9099 | 7.2951 |
| 半干旱区 Dry area | 科数 Family numbers | 2（0） | 2（0） | 2（0） | 6（0） |
| | 属数 Genus numbers | 2（0） | 2（0） | 2（0） | 6（0） |
| | 种数 Species numbers | 2（1） | 2（0） | 2（0） | 6（1） |
| | 丰富度指数 *SR* | 0.7213 | 0.2659 | 0.7213 | 1.2717 |
| 湿润区 Wet area | 科数 Family numbers | 16（15） | 13（11） | 10（8） | 28（23） |
| | 属数 Genus numbers | 20（19） | 15（13） | 18（16） | 50（45） |
| | 种数 Species numbers | 23（22） | 16（14） | 20（18） | 59（54） |
| | 丰富度指数 *SR* | 2.8998 | 2.3772 | 2.9125 | 7.1855 |

注： *SR* 为 Margalef 丰富度指数；括号中表示该气候区独有物种数。

Note：*SR* means Margalef species richness index. The brackets indicate the number of species unique to the climate zone.

半干旱区中主要的天然更新树种为露兜簕和鸦胆子，二者皆为小乔木，同时也属于湿润

区更新数量前 5 的树种；在湿润区样地中，潺槁木姜子与台湾相思天然更新的数量最多达 706.02 株/hm$^2$，占湿润区更新的 47.61%，但在半干旱区密度为 0；榄仁树（*Terminalia catappa*）、刺篱木（*Flacourtia indica*）和基及树（*Carmona microphylla*）是半干旱区前 5 更新树种，同时在湿润区内也有少量分布。另外，根据生长型分类可发现，半干旱区更新树种以小乔木及灌木为主，而湿润区更新树种主要为乔木与小乔木（表 8）。

表 8 干湿区更新密度前五的树种排序

Table 8 Ranking of species in the dry and wet area by regeneration relative density

| 半干旱区 Dry area | 生长型 Growth forms | 密度 Density（株/hm$^2$） | 密度标准化 Min-max normalization | 湿润区 Wet area | 生长型 Growth forms | 密度 Density（株/hm$^2$） | 密度标准化 Min-max normalization |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 露兜簕 *Pandanus tectorius* | 小乔木 | 94.29 | 1.00 | 潺槁木姜子 *Litsea glutinosa* | 乔木 | 390.28 | 1.00 |
| 鸦胆子 *Brucea javanica* | 小乔木 | 28.57 | 0.30 | 台湾相思 *Acacia confusa* | 乔木 | 315.74 | 0.81 |
| 榄仁树 *Terminalia catappa* | 乔木 | 8.57 | 0.09 | 苦楝 *Melia azedarach* | 乔木 | 110.65 | 0.28 |
| 刺篱木 *Flacourtia indica* | 灌木 | 5.71 | 0.06 | 鸦胆子 *Brucea javanica* | 小乔木 | 107.41 | 0.28 |
| 基及树 *Carmona microphylla* | 灌木 | 5.71 | 0.06 | 露兜簕 *Pandanus tectorius* | 小乔木 | 102.78 | 0.26 |
| 合计 Total | | 142.86 | | 合计 Total | | 1 026.85 | |

## 4. 结论与讨论

（1）海南岛木麻黄海防林总体天然更新质量不佳，但局部更新良好

全岛木麻黄海防林调查样地中，大多数样地无天然更新或更新不良，仅有 15.14%的样地面积更新质量达到良好，表明木麻黄海防林总体上更新质量不佳，这与张水松等人对福建省东山县的木麻黄林调查结果相一致（张水松等，2000），但木麻黄林局部还是可以实现天然更新的，遗憾的是没有发现木麻黄树种自身天然更新的迹象。考虑到此次调查的结果是基于在有更新区设置的样地数量多于无更新区，因而海南岛木麻黄实际更新情况比本调查结果还要差。尽管木麻黄局部天然更新良好的比例十分有限，但是若能对天然更新良好的木麻黄林实施保护及必要的管理，这些局部天然更新良好的木麻黄人工林完全可实现向近自然林方向的转变。另外，调查样地共发现天然更新的树种为 60 种/ 25 100 m$^2$，与海南尖峰岭南崖林场杉木天然更新的 131 种/2 700 m$^2$ 和马占相思的 62 种/2 700 m$^2$（彭文成等，2015）相比，单位面积木麻黄海防林天然更新的树种丰富度显然不够理想，但考虑到木麻黄海防林天然更新的困难程度及不利的沿海立地条件，60 个种能在木麻黄林海防实现天然更新也是极为宝贵的。

（2）气候条件对木麻黄海防林天然更新影响明显

从更新数量来看，海南岛湿润区天然更新的平均密度远高于半干旱区；同时湿润区更新

良好的样地也多于干旱区；半干旱区大多数的样地无天然更新，而湿润区仅有小部分无天然更新。在更新物种丰富度方面，不论是物种丰富度还是 Margalef 丰富度指数，湿润区都远大于半干旱区，湿润区与半干旱区的物种丰富度相差近十倍。从生长型来看，半干旱区各生长型的树种数相当，，湿润区乔木数则略高。从密度较高的前 5 个树种来看，半干旱区小乔木为主要更新树种，密度最高，灌木次之；而湿润区，乔木则为主要更新树种，次之为小乔木。不同气候区，更新树种生长型的差异性，即半干旱区更适合小乔木更新，而湿润区则更适应乔木生长型更新，说明干湿气候区对更新物种的选择具有重要作用。综上所述，海南岛湿润区的木麻黄林天然更新状况要远优于半干旱区，且不同气候区适应天然更新的生长型也有所不同。

（3）发现潺槁木姜子、鸦胆子等树种天然更新能力强，适合与木麻黄混交

调查发现湿润区有 2 个天然更新密度较大的树种，分别为潺槁木姜子（乔木）和台湾相思（乔木），其标准化密度均在 0.80 以上，其他前 5 的树种依次为苦楝（乔木）、鸦胆子（小乔木）和露兜簕（小乔木），其标准化密度均小于 0.30；半干旱区更新密度较大的 2 个树种分别是露兜簕（小乔木）和鸦胆子（小乔木），标准化密度分别为 1.00 和 0.30，其他前 5 的树种依次是榄仁树（乔木）、刺篱木（灌木）、基及树（灌木），但其标准化密度均小于 0.10；理论上来说，干、湿区各前 5 的树种均具备作为木麻黄混交树种的潜力。鉴于气候区对生长型和更新树种具有选择性，可初步筛选标准化密度至少在 0.30 以上的树种作为木麻黄混交林的适宜树种，其中湿润区为潺槁木姜子和台湾相思，均为乔木生长型；半干旱区为露兜簕和鸦胆子，均为小乔木生长型。另外，由于露兜簕和鸦胆子在干湿区的密度均排在前 5 位，因此这 2 个树种也可作为湿润区木麻黄混交林的伴生树种。上述天然更新标准化密度小于 0.30 的其他树种是否适合作为木麻黄海防林的混交树种尚需进行深入调查研究。

此外，此次调查发现，潺槁木姜子和鸦胆子天然更新能力较强，但尚未纳入海南岛海防林造林的树种；台湾相思、苦楝、榄仁树等树种虽然是人工造林树种，但由于对其天然更新性能认识不足，这些树种与木麻黄混交的造林面积非常有限，尤其苦楝和榄仁树仅见零星分布。鉴于潺槁木姜子、鸦胆子、台湾相思、苦楝和榄仁树等具有在木麻黄林下实现天然更新的潜力，建议今后加大这些树种与木麻黄混交的力度。基于在木麻黄海防林中具有较强天然更新性能来筛选树种，并将其与木麻黄混交，则会显著提高该混交林将来实现天然更新的潜力，并逐步实现人工海防林向近自然林方向的转变。

**参考文献：**


BO YA, LU XZ, 1991. Discussion on natural forest renewal of *Pinus tabuliformis* [J]. J Hebei For Sci Technol (04): 32-35. [薄永安，芦秀珍，1991. 对油松天然林更新的探讨[J]. 河北林业科技(04)：32-35. ]

CHAZDON RL, GUARIGUATA MR. 2016. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges[J]. Biotropica, 48(6): 716-730.

CHE XF, ZHANG JH, HUANG HJ, et al.，2014. Climate regionalization in Hainan Island[J]. Chin J Trop Agr，34(06): 60-65,70. [车秀芬，张京红，黄海静，等，2014. 海南岛气候区划研究[J]. 热带农业科学，34(06)：60-65, 70. ]

CHEN D, YE G, GAO W, et al.， 2018. Ecological response of *Casuarina equisetifolia* to environmental stress in coastal dunes in China[J]. J For Res, 23(3): 173 - 182.

CHEN XF, 1996. An exploration on the sustainable development problem of forest resource of China[J]. J Nat Resour (04): 318-325. [陈雪峰，1996. 中国森林资源可持续发展问题的探讨[J]. 自然资源学报(04)：318-325. ]

HAN FC, 2006. Discussion on the construction of "Near Natural" forest in the special protected

forest belt of Hainan coastal countries[J]. Trop For，34(03): 16-20. [韩奉畴，2006. 海南沿海国家特殊保护林带建设“近自然”型森林的探讨[J]. 热带林业，34(03)：16-20.]

HU XC, WEN CS, 2009. Study on Hainan sea coastal protective forest[J]. Prot For Sci Technol (02): 63-64+93. [胡小婵，温春生，2009. 海南省海防林研究[J]. 防护林科技(02)：63-64+93.]

LI YQ, ZHENG SW, GONG GT, et al.，2011. Research progress of biodiversity[J]. J Sichuan For Sci Technol，32(04): 12-19. [黎燕琼，郑绍伟，龚固堂，等，2011. 生物多样性研究进展[J]. 四川林业科技，32(04)：12-19.]

LIAN XR, 2014. Research on natural regeneration dynamic and sapling distribution of *Oriental Arborvitae* plantation of Mount Tai[D]. Tyan：Shandong Agr Univ. [连相汝，2014. 泰山侧柏人工林天然更新动态及幼树分布规律研究[D]. 泰安：山东农业大学.]

LIU JM, 2000. The reproductive and regenerative countermeasures of the main woody species in Maolan karst forest[J]. Sci Silvae Sinicae，36(05): 114-122. [刘济明，2000. 茂兰喀斯特森林主要树种的繁殖更新对策[J]. 林业科学，36(05)：114-122.]

LIU KC, YE WX, 2001. Analysis of forestation effect of coast protection forest in Macon by mixing of multi-species[J]. Prot For Sci Technol (04): 9-11. [刘凯昌，叶渭贤，2001. 澳门海岸防护林多树种配置造林效果分析[J]. 防护林科技(04)：9-11.]

LIU J, ZHANG YH, 2002. Investigation of root nodules and discussion of the factors which affect nodulation in *Casuarina equisetifolia* plantations in Haikou[J]. Sci Silvae Sinicae，38(05): 175-180. [刘强，张亚辉，2002. 海口地区木麻黄林根瘤调查及影响结瘤的因子探讨[J]. 林业科学，38(05)：175-180.]

LIU X, LU Y, XIE Y, et al.，2015. The positive interaction between two nonindigenous species, *Casuarina* (*Casuarina Equisetifolia*) and *Acacia* (*Acacia Mangium*), in the Tropical Coastal Zone of South China: stand dynamics and soil nutrients[J]. Trop Conserv Sci, 8(3): 598 - 609.

PENG WC, XIONG MH, LONG WX, et al.，2015. Studies on the characteristics of naturally-regenerated communities of two types of plantation in Jianfengling, Hainan[J]. For Res，28(05): 739-743. [彭文成，熊梦辉，龙文兴，等，2015. 海南尖峰岭两类人工林中天然更新群落特征研究[J]. 林业科学研究，28(05)：739-743.]

TAN FL, ZHU H, LIN J, et al.，2003. Quantitative evaluation on protection effect of *Casuarina Equisetifolia* shelterbelt in coastal area, Fujian Province[J]. Sci Silvae Sinicae，39(S1): 27-31. [谭芳林，朱炜，林捷，等，2003. 沿海木麻黄防护林基干林带防风效能定量评价研究[J]. 林业科学，39(S1)：27-31.]

ZHANG SS, YE GF, WU SD, et al.，2000. Summary of researches on techniques of regeration transformation of *Casuarina* protection forest[J]. Prot For Sci Technol (S1): 128-132+15. [张水松，叶功富，吴寿德，等，2000. 木麻黄防护林更新改造技术研究概述[J]. 防护林科技(S1)：128-132+15.]

ZHENG DX, SHA JQ, 1994. The change in soil properties under beefwood shelter belt on the aeolian sandy coast in Fujian and its influence on the reforestation of the Slashland[J]. Acta Geogr Sin (04): 345-352. [郑达贤，沙济琴，1994. 福建滨海木麻黄林下土壤性质的变化及其对林带更新的影响[J]. 地理学报(04)：345-352.]

ZHOU LL, ZHANG QQ, ZHAO YT, et al.，2015. Species association and correlation between vertical layers in the *Liquidambar formosana* community in Tiantong region, Zhejiang Province[J]. Chin J Plant Ecol ，39(12): 1136-1145. [周刘丽，张晴晴，赵延涛，等，2015. 浙江天童枫香树群落不同垂直层次物种间的联结性与相关性[J]. 植物生态学报，39(12)：

1136-1145.]